

С. Й. Ткаченко, д-р. техн. наук, проф., Т. Ю. Румянцева, асп.

АНАЛІЗ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Сформовано початкові дані для розрахунку техногенного навантаження (ТН) біогазової установки (БГУ), що проектується, в програмному продукті SimaPro 7.2. Для цього використано математичну модель балансу мас та енергії, а також процесів тепломасообміну в БГУ. На конкретному прикладі визначено ТН життєвого циклу БГУ із застосуванням методу «Eco-indicator 99» з різним компонуванням основного теплотехнологічного обладнання. Проаналізовано доцільність застосування постадійного зброджування.

Вступ та постановка задачі

Питання утилізації органічних відходів на фермерських господарствах завжди було актуальним, а останнім часом загострилася увага до проблем екології виробництва м'ясо-молочної продукції. Згідно із законодавчими нормами, що запроваджуються у різних країнах, будівництво нових ферм може розпочинатися лише за умови недопущення погіршення екологічної ситуації в зоні господарювання: перед початком експлуатації тваринницької ферми необхідно вирішити питання утилізації відходів (або шляхом переробки гною на біогаз, або укладення договору з фермерами про те, що весь гній буде вивозитись на їхні поля тощо) [1, 2].

У більшості випадків першою ознакою того, що ви наближаєтесь до фермерського комплексу, який займається вирощуванням ВРХ (велика рогата худоба) чи свиней, є неприємний запах. Біогазова технологія повністю розв'язує цю проблему. Утворення біогазу відбувається під час анаеробного бродіння органічних відходів. Процеси окислення субстрату, формування кислот, метаноутворюючих бактерій та, зрештою, метану відбуваються у закритому реакторі, тому емісія летких сполук є мінімальною [1, 2].

Крім того, господарство отримує високоякісне органічне добриво за 15–30 днів, а при зберіганні гною у лагунах аналогічний процес перетворення розтягується на 3 роки і при цьому вилучаються із сільськогосподарського користування великі площі земель. Перевагою біогазової технології є також виробництво власної електричної та теплової енергії, що дає можливість скоротити собівартість виробництва завдяки зменшенню енергозатрат [2].

Але будь-яке теплотехнологічне обладнання, до якого відноситься і біогазова установка, створює техногенне навантаження на навколишнє середовище [3–5]. Складність визначення ТН БГУ зумовлює низка проблем, які виникають під час формування початкових даних, що використовуються в програмному продукті SimaPro 7.2 [6]. Такими проблемами є: невизначеність вхідних умов, які пов'язані з різноманітністю робочих середовищ, зміною їх теплофізичних властивостей з часом та впливом великої кількості факторів, які не завжди можна врахувати. Все це вимагає оригінальних методик розрахунку біогазових установок [7].

Метою роботи є визначення техногенного навантаження біогазової установки на навколишнє середовище на етапі її створення із застосуванням експериментально-розрахункового методу [7] при формуванні початкових даних для застосування програмного продукту SimaPro 7.2.

Основні дослідження

Техногенне навантаження — це ступінь впливу техногенних факторів на довкілля [8]. До таких факторів упродовж життєвого циклу біогазової установки можна віднести: виготовлення її елементів (біореактор, теплообмінне обладнання, з'єднувальні трубопроводи, теплоізоляція та ін.), під час виробництва яких вичерпуються родовища корисних копалин та є значні затрати енергоносіїв; процес експлуатації установки, пов'язаний із витратами матеріалів, теплової та електричної енергії, вимагає використання енергетичних та інших ресурсів; процес утилізації.

Оцінювання техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу (ЖЦ) системи проводилось із застосуванням методу «Eco-indicator 99», в якому використовується безрозмірна величина Eco-indicator point (Pt), що обчислюється шляхом поділу загального навантаження на навколишнє середовище на кількість мешканців Європи і множення на 1000 (приведення до масштабу), який реалізований у програмному продукті SimaPro 7.2 [5, 6]. За методом «Eco-indicator 99» (Ei-99) використовується три категорії впливу життєвого циклу виробу: вплив на людське здоров'я (під цією категорією розуміють наслідки, що виникають від зміни клімату, виснаження озонового шару, наявності канцерогенів, іонізуючого випромінювання, дихання забрудненим повітрям); вплив на якість екосистеми (під цією категорією в методі враховані ефекти: забруднення екосистеми, окислення, еутрифікація та використання земель); вичерпання запасів мінералів і викопних палив (категорія, що визначає додаткову енергію, необхідну в майбутньому для видобутку мінералів і викопних палив більш низької якості, вичерпання сільськогосподарських і основної частини таких ресурсів як каміння, гравій розглядається під терміном використання землі) [3, 6].

Відомо [9–12], що біогаз є продуктом обміну речовин бактерій, що утворюється внаслідок розкладання ними біомаси. Автори [10–12] виділяють від двох до чотирьох етапів процесу анаеробного метанового бродіння. Згідно з сучасними уявленнями [11, 12] цей процес поділяють на такі чотири етапи (табл. 1): гідроліз, окислення (ацидогенез), розщеплення (ацетогенез), метаногенез. Таблиця 1 складена на основі інформації з [9, 11, 12]. Під неорганічними речовинами згідно з [13] розуміється наявність золи та піску.

Таблиця 1

Етапи анаеробного розкладу органічних речовин

Етап	Назва процесу	Мікроорганізми	Каталізатори процесу	Вхідні продукти	Вихідні продукти
I	Гідроліз	Анаеробні гідролізні бактерії (ферментативні кислотогени)	Ензими (целолаза, амілаза, протеаза, ліпаза)	Неорганічні речовини	Неорганічні речовини
				Високомолекулярні органічні речовини:	Низькомолекулярні сполуки:
				– жири	– жирні кислоти; – гліцероль;
				– білки	– амінокислоти; – низькомолекулярні пептиди;
				– полісахариди	– моносахариди; – дисахариди;
	–	– вода			
II	Окислення (ацидогенез, кислотогенез)	Кислотоутворюючі бактерії (ацетогени, які утворюють H ₂)	–	Низькомолекулярні сполуки:	Органічні кислоти: оцтова, мурашина, масляна, пропіонова, капронова, молочна
				– жирні кислоти; – гліцероль; – амінокислоти; – низькомолекулярні пептиди; – моносахариди; – дисахариди; – вода	Спирти: метанол, етанол, пропанол, бутанол; гліцерин
					Кетони – ацетон
					Гази: діоксид вуглецю, водень, сірководень, аміак
					Вода
	Неорганічні речовини	Неорганічні речовини			
III	Розщеплення (ацетогенез)	Ацетогенні бактерії або кислотоутворюючі бактерії (ацетогени, які вистовують H ₂)	–	Органічні кислоти: оцтова, мурашина, масляна, пропіонова, капронова, молочна	Вода. Оцтова кислота, діоксид вуглецю, водень, сірководень
				Спирти: метанол, етанол, пропанол, бутанол; гліцерин.	
				Кетони: ацетон	
				Гази: діоксид вуглецю, водень, сірководень, аміак	
				Неорганічні речовини	Неорганічні речовини

Етап	Назва процесу	Мікроорганізми	Каталізатори процесу	Вхідні продукти	Вихідні продукти
IV	Метаногенез	Метанові бактерії (метаногени, які відновлюють CO ₂ та метаногени, які використовують ацетат)	—	Оцтова кислота, діоксид вуглецю, водень, сірководень	Вода. Метан, діоксид вуглецю, сірководень
				Неорганічні речовини	Неорганічні речовини
				—	Добрива

Елементарний склад добрив за [14]: нітроген, карбон, кальцій, фосфор, магній, калій, натрій, ферум, цинк, манган, купрум, кобальт.

У більшості біогазових установок процеси розщеплення відбуваються паралельно, тобто вони не розділені ні в просторі, ні в часі. Такі технології називають одноступінчастими. Для субстратів, які швидко розкладаються в анаеробних умовах, рекомендується для гідролізу та окислення передбачати окремі ферментатори (двоступенева технологія), де створюються оптимальні умови життєдіяльності для кожного виду бактерій незалежно один від одного (в першу чергу, рівень рН та температурний режим). Отже, саме таким чином досягається більший вихід біогазу [9, 15].

До уваги взято процес постадійного зброджування, який відбувається спочатку в анаеробному біореакторі-підігрівнику (витримувачі), потім в каскаді анаеробних біореакторів (метантенки) в чотири стадії, відповідно до кількості етапів розкладу органічних речовин з утворенням біогазу. Але такий процес потребує жорсткого контролю і дотримання вимог до технологічного процесу, що може призвести до нерентабельності такої установки [16].

Тому авторами для числового дослідження з урахуванням [16, 17] прийнято, що застосування $n \geq 2$ однотипних резервуарів у складі реактора БГУ, дозволяє інтенсифікувати процес у 2–3 рази. При цьому застосовано математичну модель для розрахунку біогазової установки, яка дає змогу на основі балансових рівнянь маси та енергії, а також експериментально-розрахункового методу визначення інтенсивності теплообміну в багатокомпонентних органічних сумішах [7], сформувані початкові дані для розрахунку техногенного навантаження установки на навколишнє середовище.

Приклад визначення техногенного навантаження життєвого циклу біогазової установки

Як об'єкт числового дослідження, взято схему БГУ наведену в [4], яка має забезпечувати переробку органічних відходів від 400 голів великої рогатої худоби з добовим виходом відходів від однієї корови 55 кг/добу при безпідстилковому утриманні останньої, початкова вологість відходів 88,4 %. Згідно з [16, 17] можна припустити, що інтенсивність процесу метанового бродіння q знаходиться в таких діапазонах: для одного реактора — $q_1 = 0,8\text{--}1,2 \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$; для двох — $q_2 = 1,75\text{--}2,2 \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$; для трьох — $q_3 = 2,2\text{--}2,7 \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$; для чотирьох — $q_4 = 2,5\text{--}3 \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$.

Для розрахунку БГУ прийнято, що q для одного реактора ($n = 1$) об'ємом 420 м^3 становить $1 \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$; для двох ($n = 2$) об'ємом по 105 м^3 кожен — $q = 2 \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$; для трьох ($n = 3$) об'ємом 56 м^3 кожен — $q = 2,5 \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$; для чотирьох ($n = 4$) об'ємом 35 м^3 кожен — $q = 3 \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$.

Проведено розрахунки теплової схеми БГУ за різної компоновки основного теплотехнологічного обладнання. Встановлено, що за рахунок інтенсифікації процесу загальний об'єм реактора із застосуванням двох резервуарів зменшується на 50 %, а площа поверхні реактора — на 15 %, відповідно, із застосуванням, принаймні, трьох — об'єм реактора зменшується на 60 %, площа — на 18 %, відповідно, а, отже, при цьому скорочуються витрати на теплоізоляцію. Варто також врахувати те, що ускладнюється тепло-технологічна схема БГУ, тобто зі збільшенням кількості

метантенків пропорційно збільшується кількість допоміжного обладнання (нагнітачі, вимірювальні прилади, трубопроводи та ін.), яке є невід'ємною частиною установки.

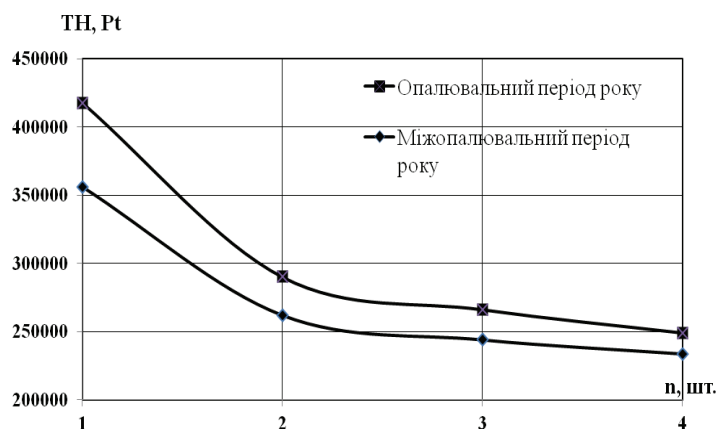
Першим і обов'язковим кроком під час оцінювання та аналізу впливу життєвого циклу БГУ на навколишнє середовище є визначення ресурсів, які використовуються на всіх стадіях життєвого циклу виробу. Такими ресурсами (початкові дані) (табл. 2) для оцінки ТН ЖЦ БГУ є: термін експлуатації; споживання електричної енергії протягом експлуатації для приводу насосів, мішалки, компресора, під час зварювальних робіт; виробництво теплової енергії протягом терміну експлуатації; маси та види матеріалів (сталь, оцинковане залізо, мідь, теплоізоляція) використані для виготовлення біогазової установки. Всі подальші етапи аналізу виконувались з використанням бази даних програми SimaPro 7.2.

Таблиця 2

Початкові дані для оцінки техногенного навантаження життєвого циклу біогазової установки в програмному продукті SimaPro 7.2

Величина	Розмірність	Кількість реакторів, шт.			
		$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
Термін експлуатації	роки	15			
Маса сталі	кг	26295	19610	18604	17756
Маса обшивки з оцинкованого заліза	кг	2303	1782	1709	1658
Маса теплоізоляції	кг	1293	978	908	878
Маса міді	кг	316	91	83	75
Теплота біогазу для технологічних потреб	ТДж	28,0	33,6	35,1	35,7
Витрата електроенергії	ТДж	276,8	190,8	174,3	162,9

Результати числового експерименту з оцінки техногенного навантаження ЖЦ БГУ згідно з початковими даними (табл. 2) в опалювальний (температура навколишнього середовища $t_{\text{н.с.}} = -1,1 \text{ } ^\circ\text{C}$) та міжопалювальний ($t_{\text{н.с.}} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$) періоди року показані на рисунку.



Очікуваний загальний вплив життєвого циклу біогазової установки на навколишнє середовище:

ТН – техногенне навантаження; n – кількість реакторів

резервуарів у складі реактора БГУ не лише підвищує енергетичну ефективність установки [16, 17], а й зменшує техногенне навантаження останньої на навколишнє середовище. Також принцип постадійного зброджування органічних відходів сприяє збереженню екологічної якості добрив за безперервного циклу роботи біогазової установки [18].

Зменшення техногенного навантаження можна досягти на етапі проектування БГУ, враховуючи параметри, що впливають на швидкість організації процесу метанового бродіння: робоча температура процесу; властивості сировини; наявність інгібіторів процесу; технологічні фактори; види технологічної схеми БГУ; форма і геометричні параметри реактора; кількість реакторів; способи термостабілізації; вторинне використання теплоти; кліматичні умови регіону тощо [19, 20].

Як впливає з графіків, техногенне навантаження ЖЦ БГУ на навколишнє середовище у разі використання двох реакторів, в порівнянні з одним, зменшується на 28...35%. При цьому температура субстрату на виході з теплоутилізатора [4] взята $15 \text{ } ^\circ\text{C}$. Значне зниження техногенного навантаження на 34...40% дає застосування чотирьох реакторів. Остаточне рішення про доцільність спорудження $n \geq 2$ реакторів можна ухвалити лише після детальної розробки проекту БГУ, адже зі збільшенням кількості метантенків ускладнюється теплотехнологічна схема БГУ.

Отже, застосування двох однотипних

Висновки

1. Для визначення техногенного навантаження фермерської БГУ з різною компоновкою основного теплотехнологічного обладнання на навколишнє середовище використано метод оцінки впливу життєвого циклу системи «Eco-indicator 99», який реалізований у програмному продукті SimaPro 7.2.

2. Для формування початкових даних з визначення техногенного навантаження БГУ, що проектується, доцільно використовувати математичну модель балансу мас і енергії, а також процесів тепломасообміну в біогазовій установці.

3. У результаті досліджень конкретної БГУ на 400 голів великої рогатої худоби з добовим виходом відходів від однієї корови 55 кг/добу за безпідстилкового утримання останньої встановлено, що застосування постадійного зброджування ($n = 4$) може привести до зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище на 34...40 %. Остаточне рішення про кількість реакторів ухвалюється під час детальної розробки проекту БГУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дичаковська В. / Біогазова установка: вигоди і застороги [Електронний ресурс] / В. Дичаковська // AGRO TIMES. — Режим доступу до журн. : http://www.agrotimes.net/biogazova_ustanovka.html.
2. Момот Ю. М. Біогазові перспективи України [Електронний ресурс] / Ю. М. Момот // Свинарство в Україні та світі. — Режим доступу : <http://pigua.info/index.php?action=interview&id=13&version=2>.
3. Зменшення техногенного навантаження енергозберігаючих систем утилізації органічних відходів (82–Д–312) № 0108U000667 : звіт з наук.-дослід. роботи / Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Румянцева Т. Ю. [та ін.]. — Вінниця, 2010. — 150 с.
4. Степанов Д. В. Утилізація теплоти в схемі системи переробки органічних відходів / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар, Н. В. Пішеніна // Енергетика та електрифікація. Енергоефективність та енергозбереження. — № 4. — 2011. — С. 68—71.
5. Боднар Л. А. Застосування методології оцінки впливу життєвого циклу виробу до котла малої потужності / Л. А. Боднар, Д. В. Степанов // Вісник Хмельницького національного університету. — 2009. — № 1. — С. 118—121.
6. Програмне забезпечення SimaPro 7.2 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.pre.nl/simapro/download_simapro.htm.
7. Ткаченко С. Й. Теплообмін в системах біоконверсії : моногр. / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 124 с.
8. Мусієнко М. М. Екологія : тлумачний слов. / М. М. Мусієнко, В. В. Серебряков, О. В. Брайон. — К. : Либідь, 2004. — 376 с.
9. Шаланда А. В. Микробиологические основы получения биогаза в биогазовых установках [Електронний ресурс] / А. В. Шаланда. — Режим доступу : www.cbio.ru/modules/mydownloads/cache/files/metanogenesis.doc.
10. Добрынина О. М. Технологические аспекты получения биогаза / О. М. Добрынина, Е. В. Калинина // Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. — 2010. — № 2. — С. 33—40.
11. Гюнтер Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. — М. : Стройиздат, 1991. — 128 с.
12. Баадер Б. Биогаз : теория и практика / Баадер Б., Доне Брендерфер М.; пер. с нем. М. И. Серебрянного — М. : Колос, 1982. — 148 с.
13. Мерзлая Г. Е. Агрэкологические основы и технологии использования бесподстилочного навоза / [Г. Е. Мерзлая, М. Н. Новиков, А. И. Еськов, С. И. Тарасов]. — М. : Россельхозакадемия — ГНУ ВНИПТИОУ, 2006. — 463 с.
14. Агропромышленный портал Юга России [Электронный ресурс]. — Режим доступа к журналу : <http://www.agroyoug.ru>.
15. Патент України 64019 У, МПК C02F 11/04. Модульна установка для одержання біогазу та біодобрив з органічних відходів / Процишин Б. М., Аксютів І. О., Бабкін Я. В., Боровинський Ю. А., Михалевич В. В. — № 201104252; заявл. 07.04.2011; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20. — К. : Промислова власність. — 3 с.
16. Бурдейный Д. Н. Получение энергии и удобрений из биомассы / Д. Н. Бурдейный, В. И. Шаталов, Ю. И. Свитличная // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 2. — С. 77—80.
17. Волова Т. Г. Биотехнология / Т. Г. Волова. — Новосибирск : изд-во Сибирского отделения Российской Академии наук, 1999. — 252 с.
18. Биогаз. Биогазовые установки: продажа, чертежи [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://biogas.in.ua/>.
19. Ткаченко С. Й. Аналіз факторів зниження матеріаломісткості та підвищення енергоефективності біогазової установки / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2010. — № 6. — С. 47—53.
20. Ткаченко С. Й. Наземні біогазові установки / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева // Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві. — 2010. — № 2. — С. 147—152.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Стаття надійшла до редакції 29.03.12
Рекомендована до друку 21.05.12

Ткаченко Станіслав Йосипович — завідувач кафедри, **Румянцева Тетяна Юрївна** — аспірантка.
Кафедра теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця